

## **IV Escola de Inverno de Física**

**Programa de Pós-Graduação em Física**

**25 a 29 de julho de 2011 - Instituto de Física da UFBA - Salvador - Bahia**



## **Minicurso:**

## **Astroquímica e Astrobiologia**

Sergio Pilling

[sergiopilling@yahoo.com.br](mailto:sergiopilling@yahoo.com.br)



### **Aula 1:**

### **A Evolução Química do Universo:**

Nucleossínteses, Evolução estelar, Meio interestelar, Moléculas.

### **Aula 2:**

### **Astroquímica:**

Observações (IR e Radio) e experimentos.

### **Aula 3:**

### **Astrobiologia:**

Exoplanetas, habitabilidade, extremófilos e panspermia.

## Aula 3:

### Astrobiologia:

Exoplanetas, habitabilidade, extremófilos e panspermia.

## Exoplanetas

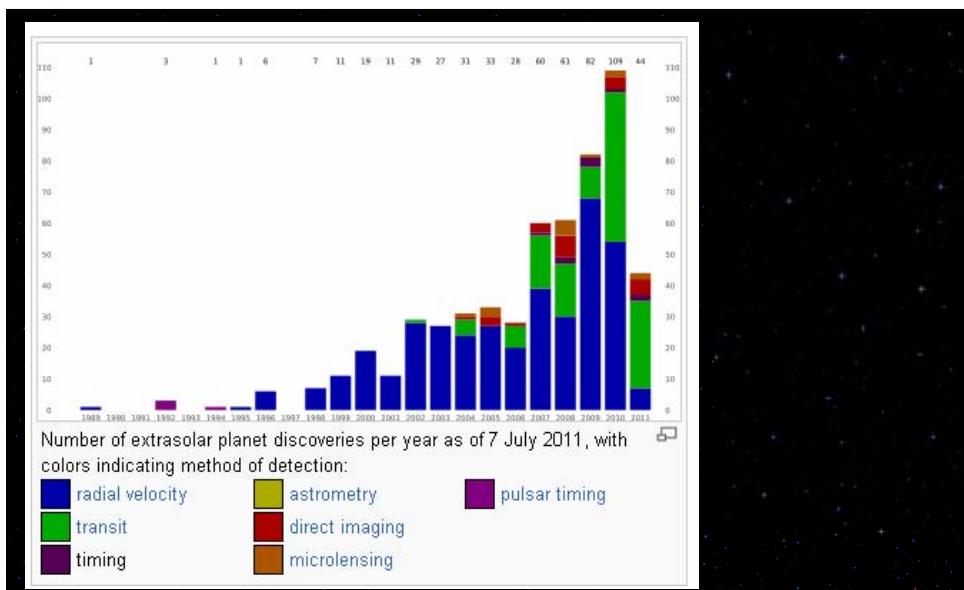
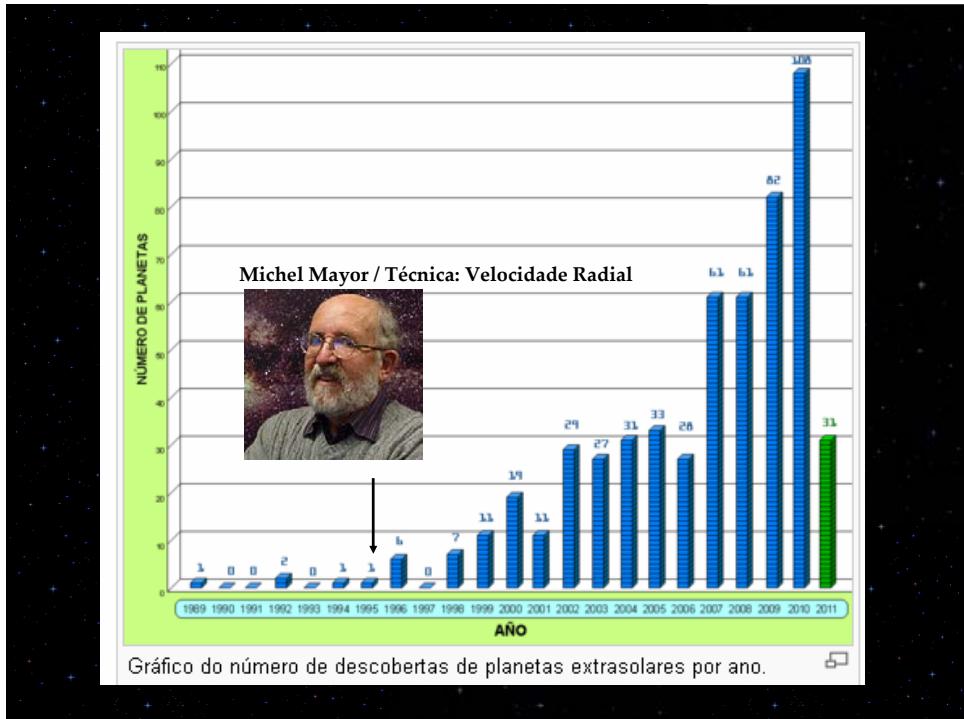
Baseado na União Astronômica Internacional (IAU), para que um corpo seja considerado um "planeta", ele deve apresentar as seguintes características:

Um planeta é um corpo celestial que: (a) está em órbita ao redor de uma ou mais estrelas, (b) tem massa suficiente para que sua autogravidade permita que ele assuma uma forma arredondada (em equilíbrio hidrostático) e seja menor que 13 Massas de Júpiter e, (c) tem limpa a sua vizinhança ao longo de sua órbita.

Portanto, um exoplaneta seria um corpo celeste com estas características, mas que orbita uma estrela que não seja o Sol e, desta forma, pertence a um sistema planetário distinto do nosso.

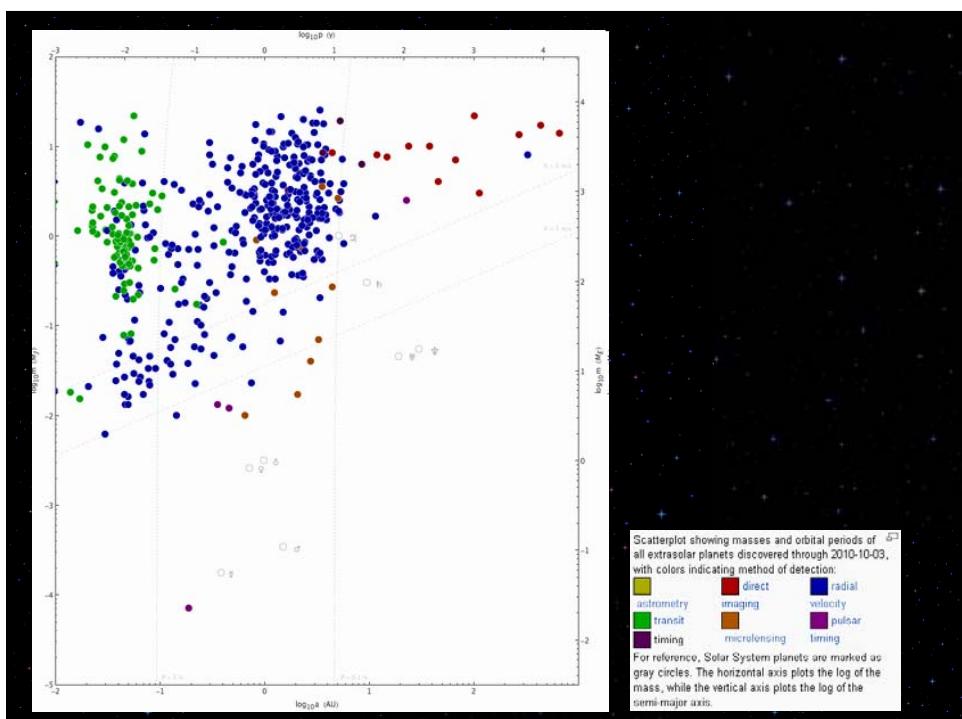
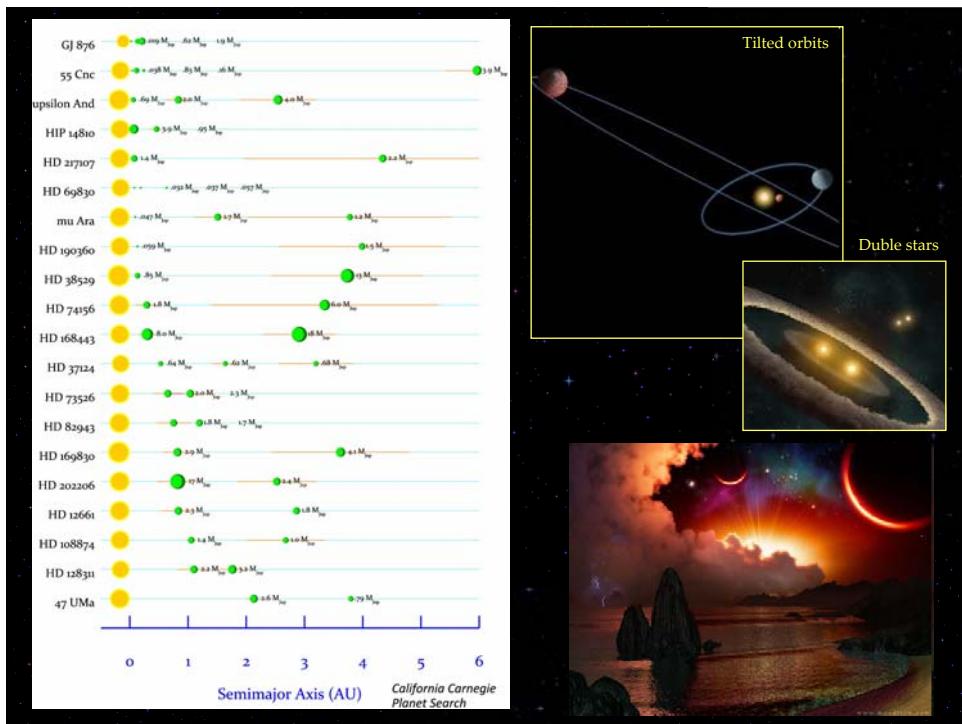
Julho/2011: 563 planetas extra-solares  
+ 1200 candidatos (Kepler Telescope)

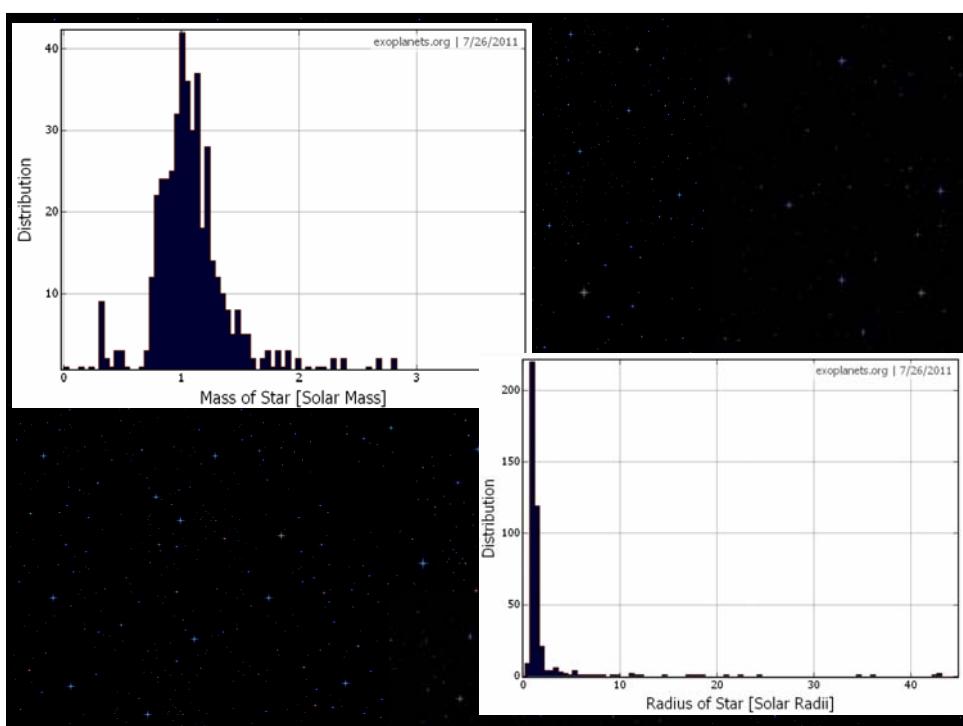
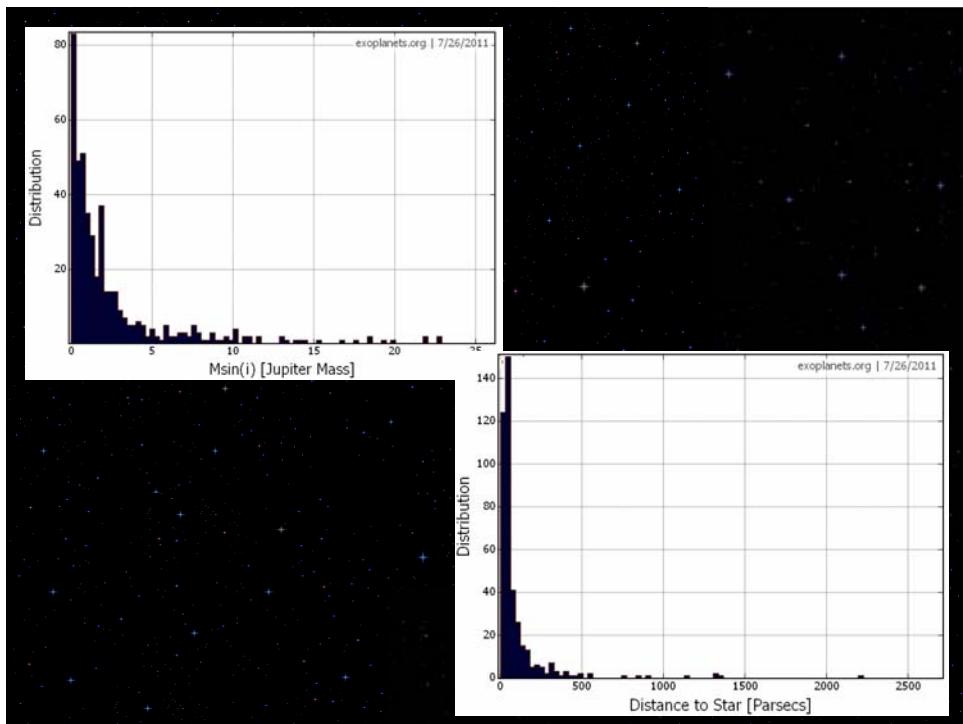
<http://exoplanets.org/plot/>



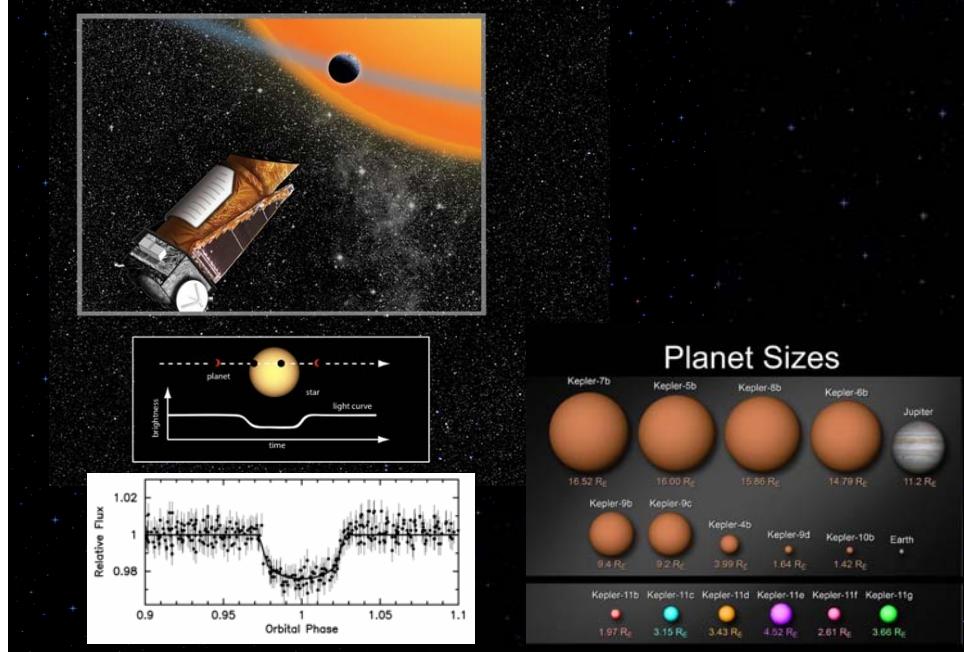
**53 known planetary systems** (i.e. stars with at least two confirmed [planets](#)),

There are 34 stars with two planets, 10 with three, 5 with four, 1 with five, 2 with six, and 1 with eight.

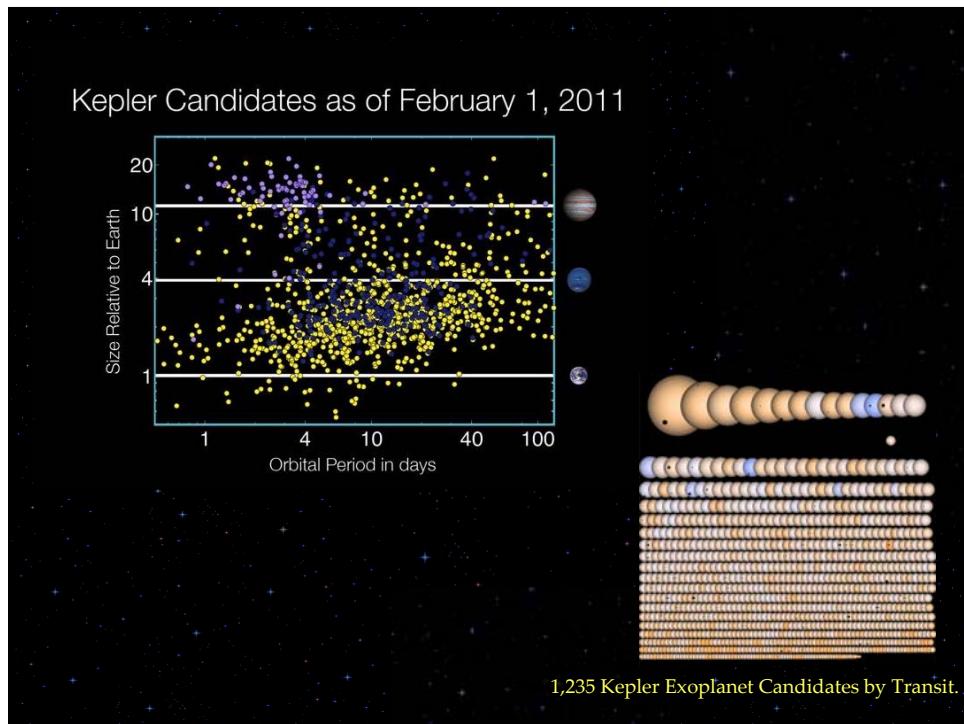




## Técnicas: Trânsito planetário.

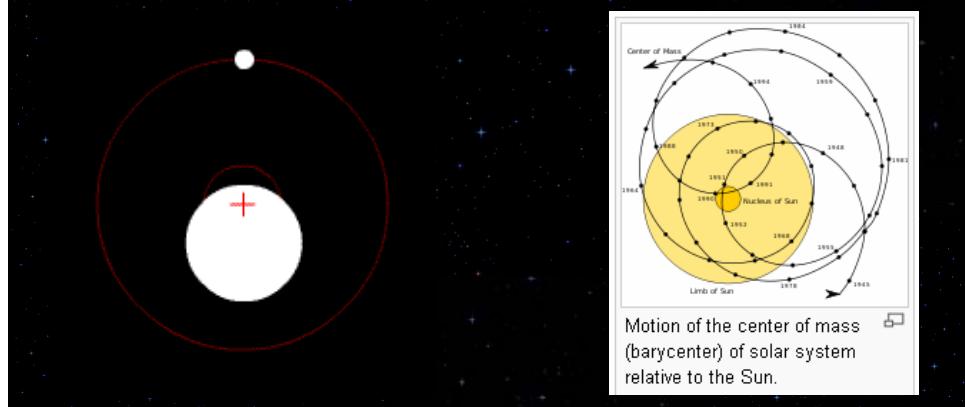


Kepler Candidates as of February 1, 2011

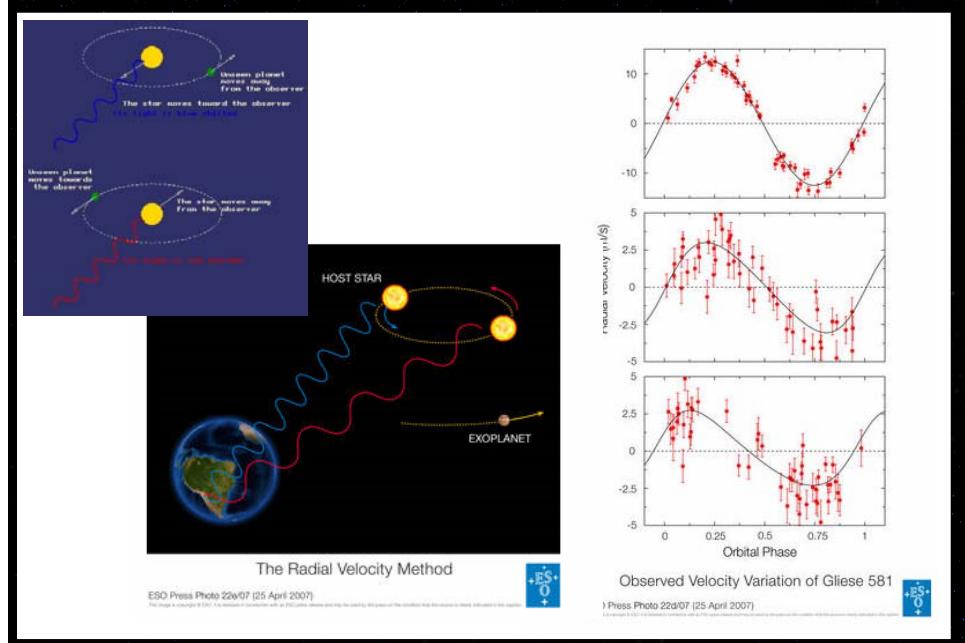


## Técnicas: Astrometria.

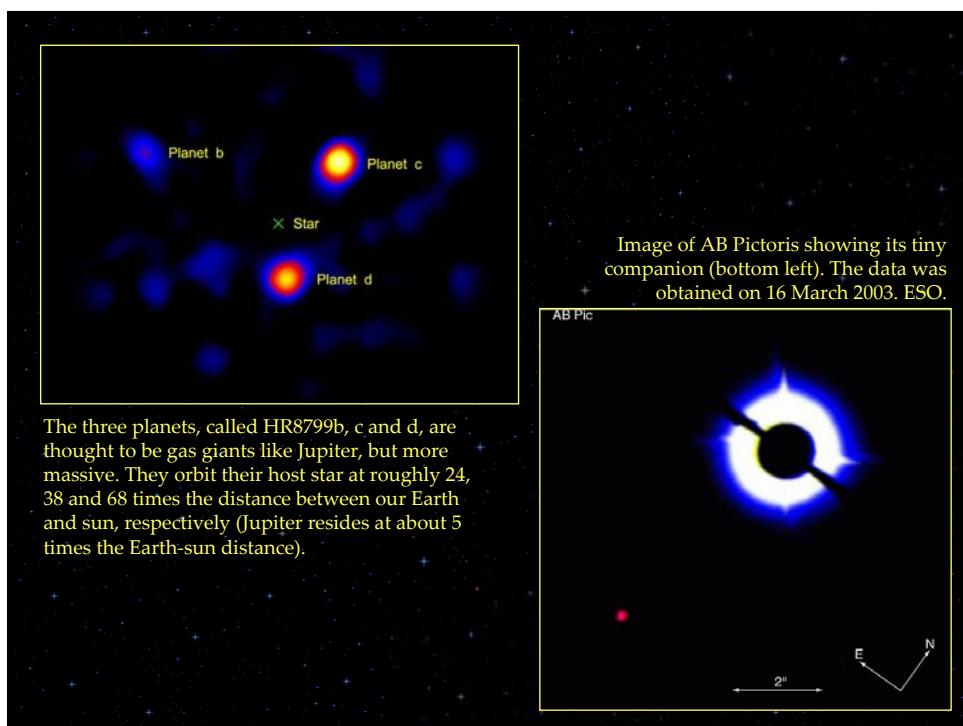
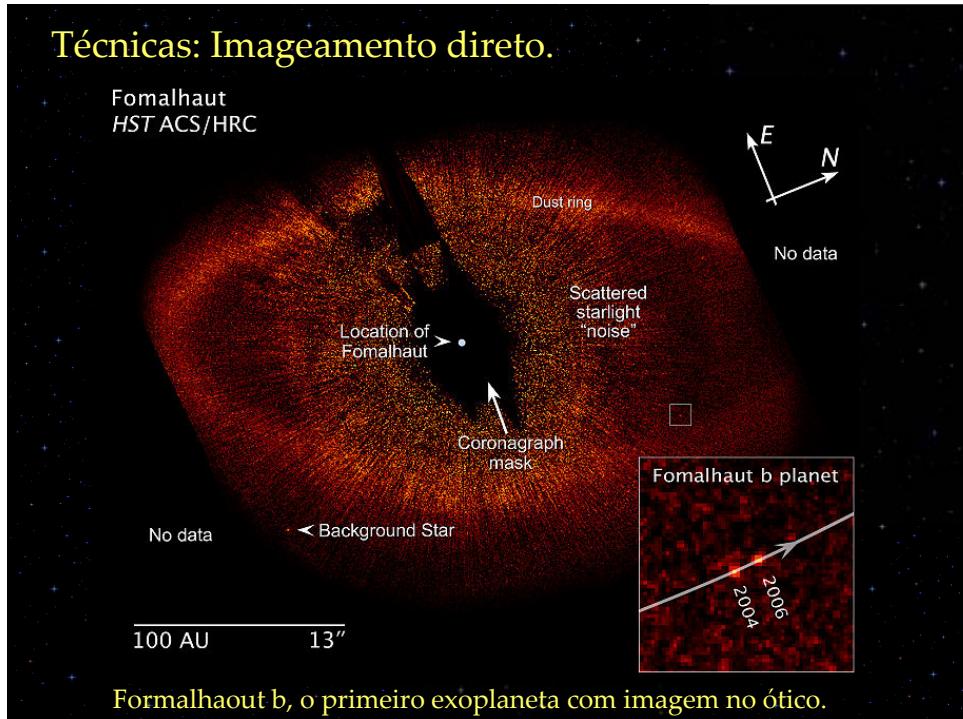
A astrometria consiste no método mais antigo para a busca de exoplanetas, usado pela primeira vez em 1943. Uma certa quantidade de estrelas candidatas foram encontradas desde então, mas não houve confirmação em nenhum desses casos, e muitos astrônomos desistiram desse método diante de outros mais bem-sucedidos. O método envolve a medição do movimento próprio da estrela em busca dos efeitos causados por seus planetas. O primeiro exoplaneta detectado por essa técnica aconteceu ocorreu em 2008.



## Técnicas: Velocidade Radial (efeito Doppler).



## Técnicas: Imageamento direto.



## Técnicas: Microlente gravitacional.

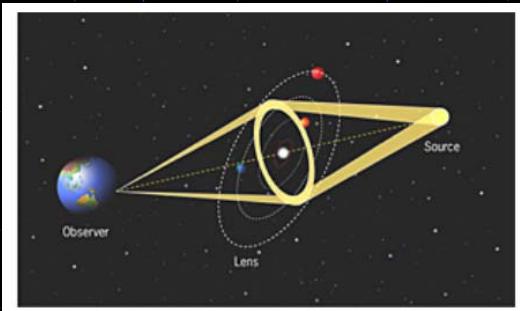


Figura 7: Efeito de microlente gravitacional causando por um sistema planetário. Fonte: site do projeto MOA.

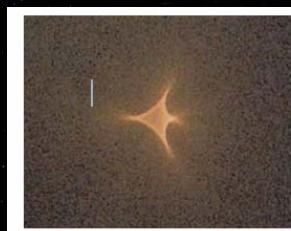


Figura 8: distorção da luz causada pelo efeito de microlente gravitacional binária. Fonte: site do projeto MOA (Microlensing Observations in Astrophysics)

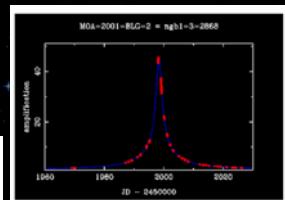


Figura 9: microlente gravitacional causada por um sistema planetário no objeto MOA 2001-BLG-02. Fonte: site projeto MOA (dias Julianos).

As microlentes gravitacionais permitem descobrir planetas de baixa massa (i.e. telúricos), uma grande vantagem sobre outros métodos de detecção de planetas.

## Atmosferas de Exoplanetas

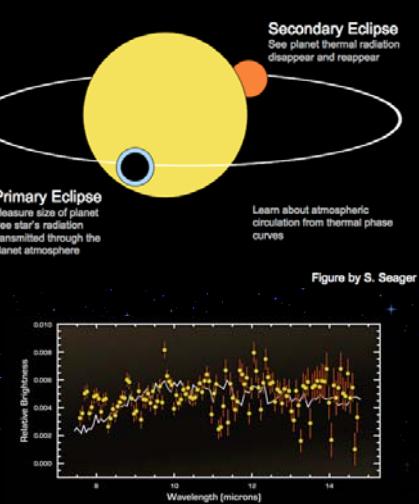
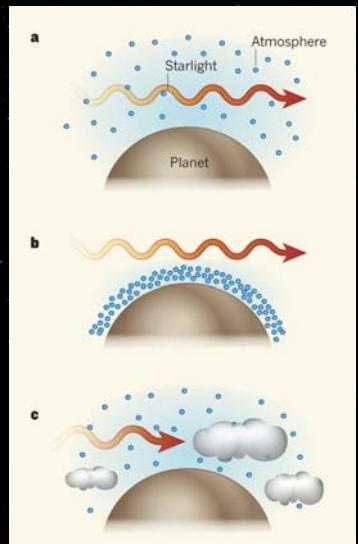
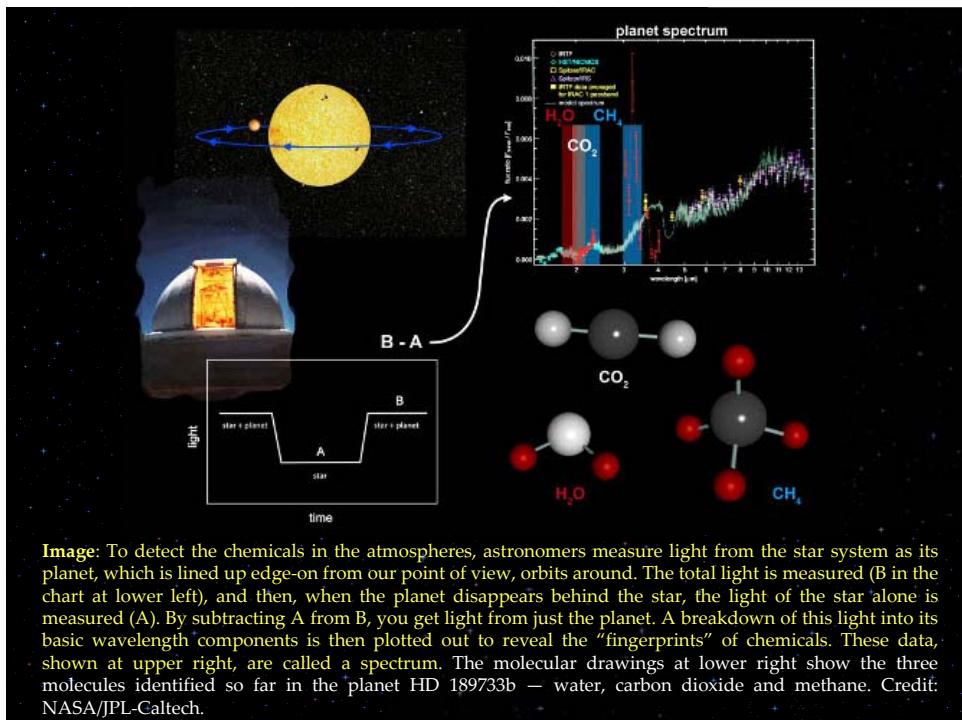


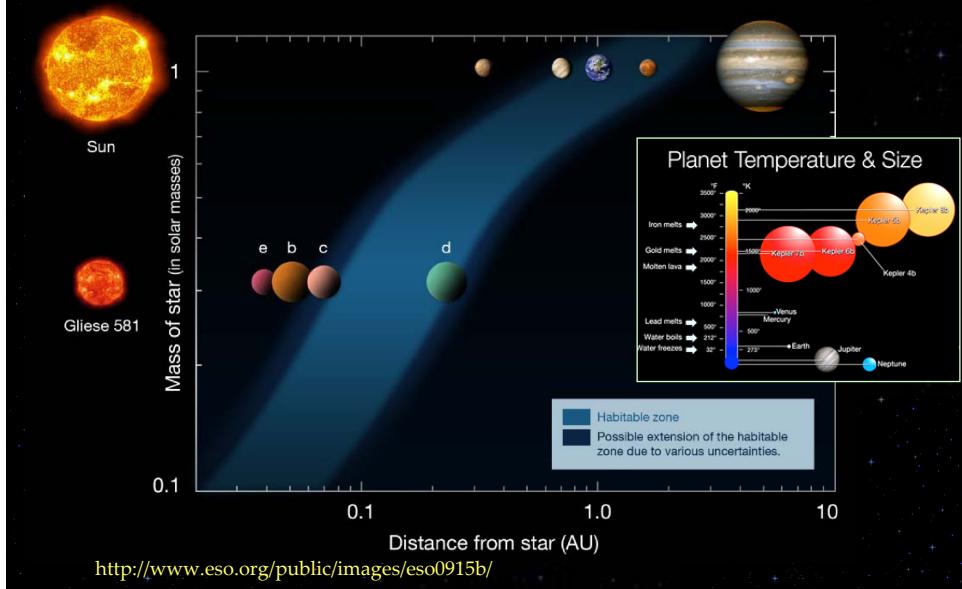
Figure by S. Seager



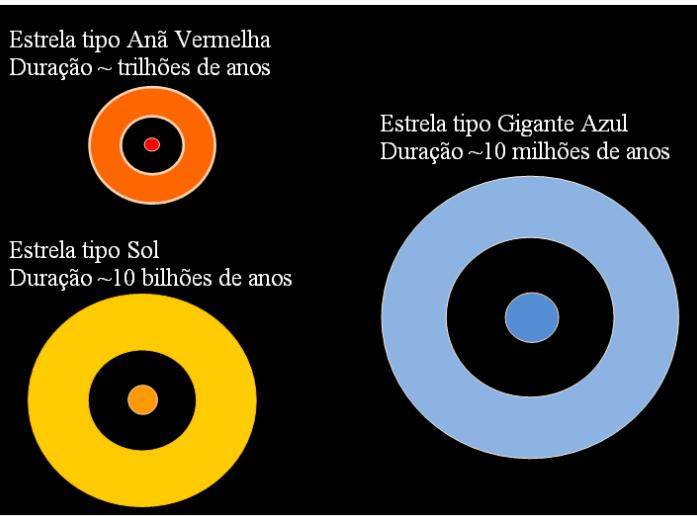


## Zonas de Habitabilidad

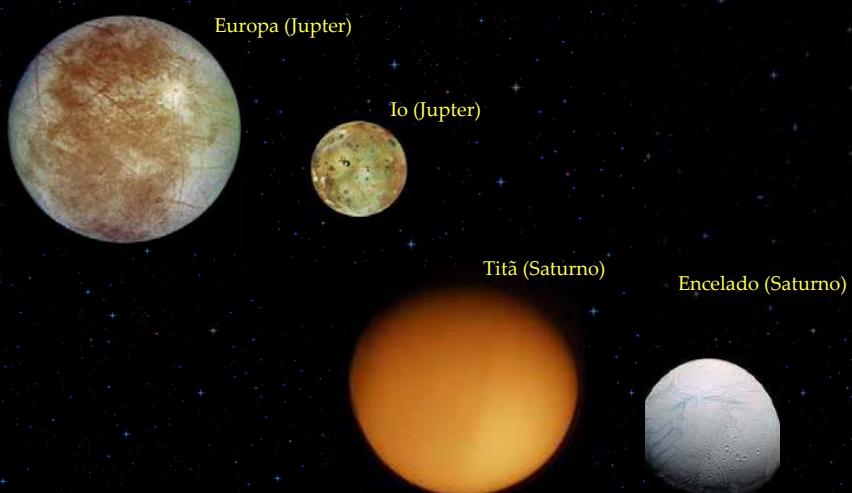
### - Zona de Habitabilidad Planetária



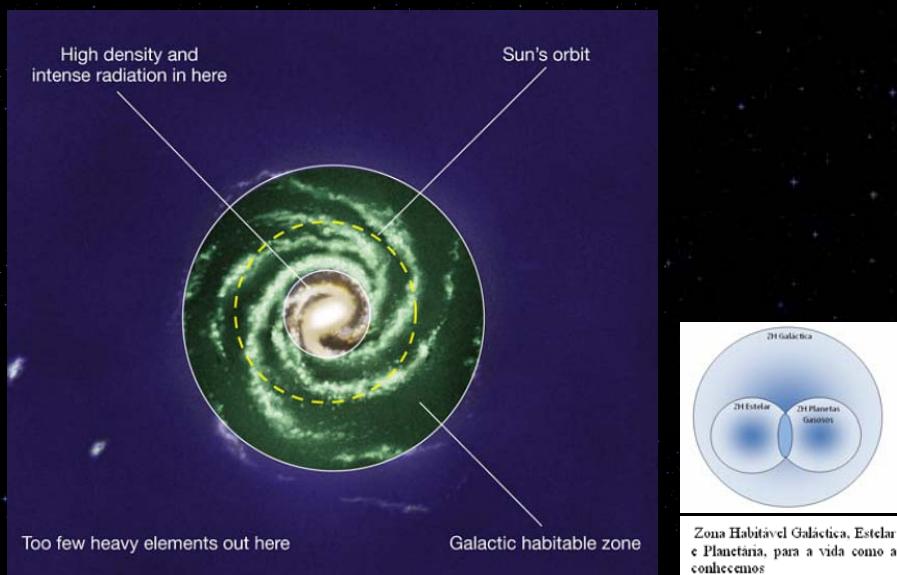
- Zona de Habitabilidade Planetária de acordo com a massa da estrela.



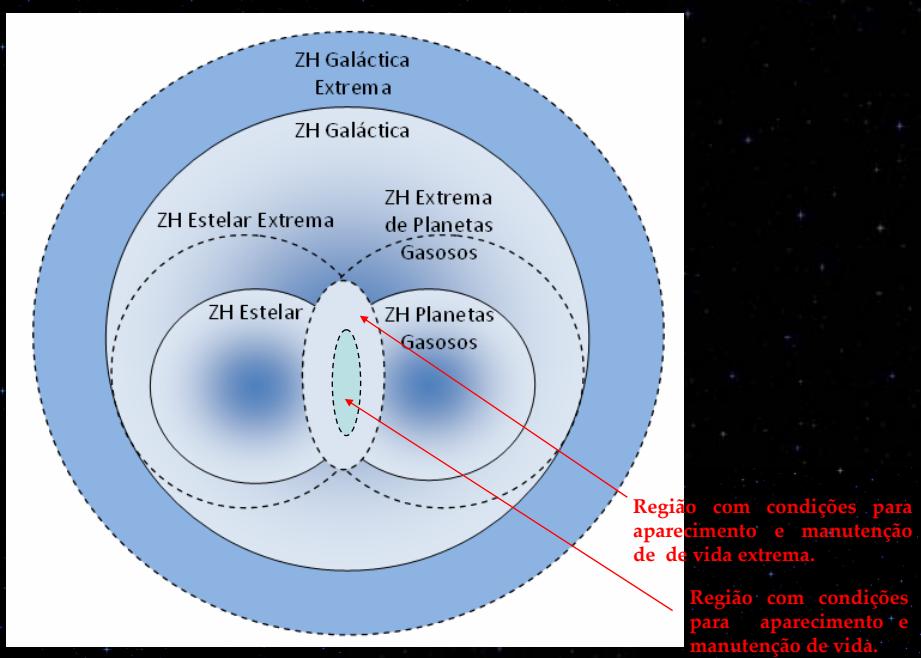
-Zona de Habitabilidade em torno de Planetas Gigantes  
(Energia devido a efeito Maré e Energia interna de luas  
(elementos radiativos)

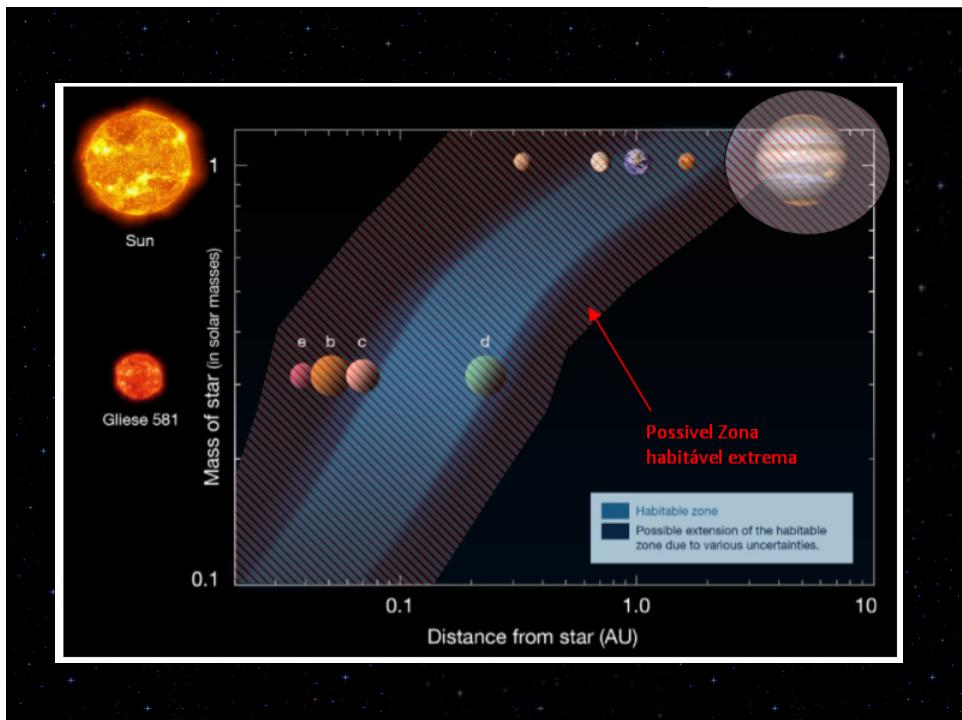


## - Zona de Habitabilidade Galáctica



## - Zonas de Habitabilidade Extrema → p/ microorganismos extremófilos





## Extremófilos

...são microrganismos que vivem em condições óptimas em ambientes que a maioria dos outros organismos vivos considera insuportáveis.  
Dividem-se em cinco categorias:

**Hipertermófilos:** colonizam nichos onde as temperaturas sobem até 140°C como fumarolas, fontes termais superficiais e abissais.



**Psicrófilos:**  
Vivem optimamente em ambientes onde as temperaturas rondam os 0°C.

**Halófilos extremos:**  
Colonizam ambientes onde a salinidade varia entre 9 e 30% NaCl, como salinas e outros locais hipersalinos (como por ex. o Mar Morto).



**Acidófilos:** Vivem em ambientes acídicos (pH entre 0.1 e 4) como sulfataras e lagos criados em minas de pirite.

**Ácalófilos:** Vivem em lagos salgados e águas subterrâneas onde o pH é superior a 10.



**Tabela 1** Classificação e exemplos de organismos extremófilos (adaptada de ROTHSCHILD e MANCINELLI, 2001).

Parâmetro Ambiental	Tipo	Definição	Exemplos
Temperatura	Hipertermófilos	Crescimento >80°C	<i>Pirolobus fumarii</i> , 113°C
	Termófilos	Crescim. 60-80°C	<i>Synechococcus lividis</i>
	Mesófilos	Crescim. 15-60°C	<i>Homo sapiens</i>
Radiação	Psicrófilos	Crescim. <15°C	<i>Psychrobacter</i> , alguns insetos
Pressão	Barófilicos	Atração por pressão	Para microbios, 130 Mpa
	Hipobarófilicos	Baixa pressão	<i>Bacillus subtilis</i>
Gravidade	Hipergravidade	> 1G	Desconhecidos
	Hipogravidade	<1G	Desconhecidos
Vácuo		Toleram o vácuo (espaço destituído de matéria)	Tardigrados, insetos, microrganismos e sementes
Dessecação	Xerófilos	Anidróbitico	<i>Artemia salina</i> , nematóides, microrganismos, fungos e líquens
Salinidade	Halófilos	Crescim. em salinas (NaCl 2,0 - 5,0 M)	<i>Halobacteriaceae</i> , <i>Dunaliella salina</i>
PH	Alcalófilos	pH>9	<i>Natronobacterium</i> , <i>Bacillus firmus</i> OF4, <i>Spirulina</i> spp. (todos pH>10,5)
	Acidófilos	Baixo pH	<i>Glanidium caldarium</i>
	Aanaeróbios	Não suportam O <sub>2</sub>	<i>Ferroplasma</i> spp. (ambos pH 0,0)
Tensão de Oxigênio	Microaerófilos	Toleram baixos níveis de O <sub>2</sub>	<i>Clostridium</i>
	Aeróbios	Requerem O <sub>2</sub>	<i>H. sapiens</i>
	Gases		<i>C. caldarium</i> (CO <sub>2</sub> puro)
Extremos Químicos	Metals	Podem tolerar altas concentrações de metais (metaltolerantes)	<i>Ferroplasma acidarmanus</i> (Cu, As, Cd, Zn); <i>Ralstonia</i> sp. CH34 (Zn, Co, Cd, Hg, Pb)

## Efeitos da Radiação:

- Dissocia a água no interior celular produzindo radicais livres que causam dano nos componentes celulares
- Causa dano direto no DNA, RNA e proteínas.
- Causa dano na estrutura da membrana celular

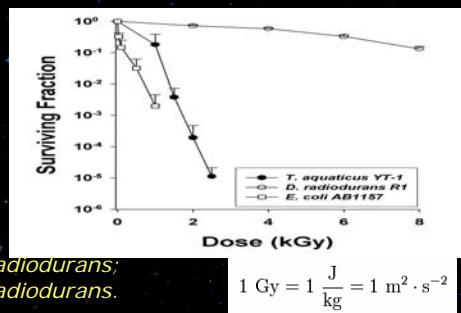
Radiação UV e ionizante:

10 Gy = letal para humanos;

60 Gy = letal para *E. coli*;

5000 Gy = 100% viabilidade *D. radiodurans*;

15000 Gy = 57% viabilidade *D. radiodurans*.



$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

## Efeitos da Pressão:

- Comprime e aumenta o empacotamento de lipídeos (membrana);
- Diminui a fluidez da membrana;
- Inibe reações químicas em geral.

## Efeitos da Microgravidade:

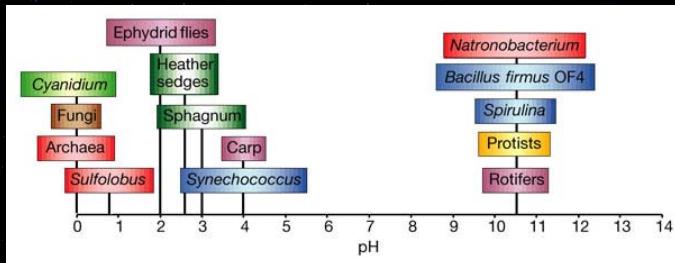
- Altera a produção de biomassa;
- Altera a permeabilidade da membrana;
- Aumenta as taxas de conjugação.

## Efeitos da Dessecação (vácuo):

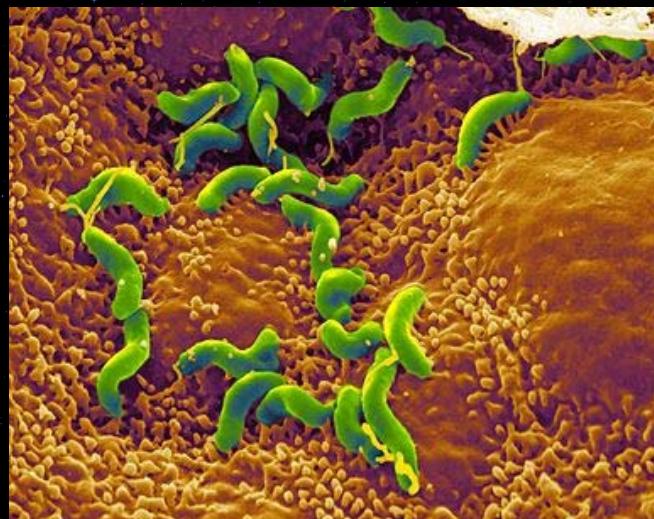
- Mudanças irreversíveis (desnaturação, quebras estruturais) em lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos;

## Efeitos do pH:

- Altera o metabolismo celular, podendo causar morte celular.
- Em casos extremos danifica a membrana celular causando morte celular.

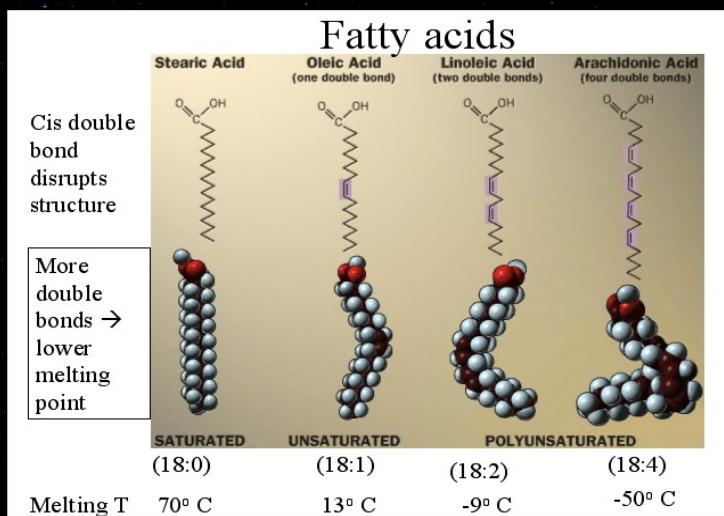


Podemos ter extremófilos dentro de nós!

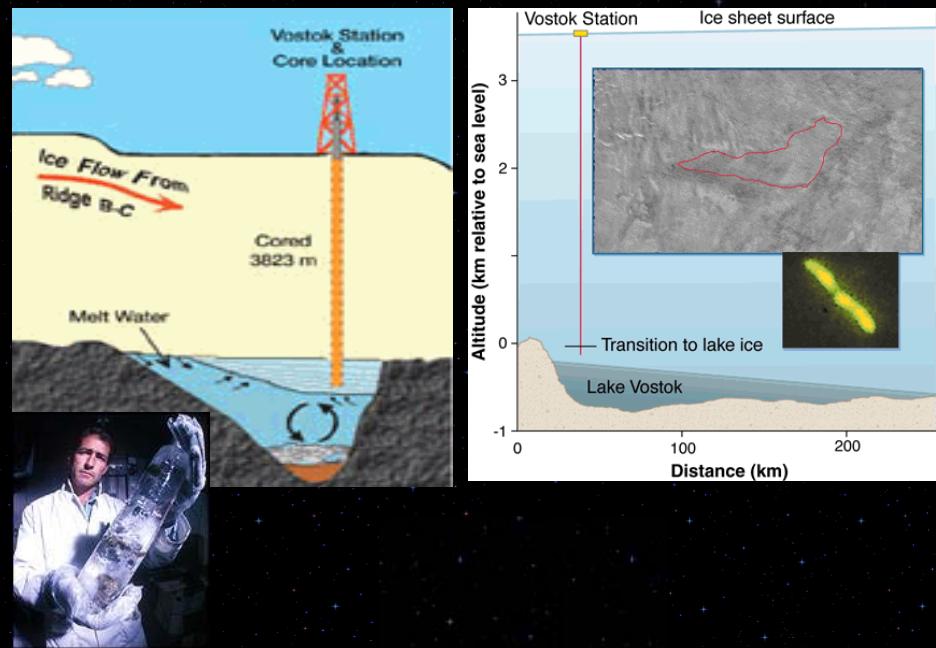


*Helicobacter pylori* (pH 0-1)

## Adaptações ao frio extremo: Diferenciação da membrana.



## Lago Vostok x Europa



## *Deinococcus radiodurans*

- Descoberta em 1956 por A. W. Anderson
- Encontrada naturalmente no ambiente, gram positiva, aeróbia



Fig. Colônias de *Deinococcus radiodurans* crescidas em meio de cultura solidificado. Fonte: [http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast14dec99\\_1.htm](http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast14dec99_1.htm)

### Poli-extremófila:

Dessecação  
Agentes genotóxicos  
Danos oxidativos  
Radiação UV e ionizante

10 Gy = letal para humanos  
60 Gy = letal para *Escherichia coli*  
5000 Gy = 100% viabilidade *D. radiodurans*  
15000 Gy = 37% viabilidade *D. radiodurans*

## Danos causados pela radiação:

Diretos: em membranas, proteínas e ácidos nucléicos

Indiretos: por radicais livres gerados pela radiação



BER – Base excision repair

RecA – Recombination protein A

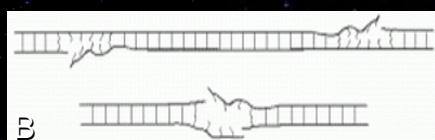


Figura. (A) Estrutura do DNA; (B) Tipos de quebra (ss ou ds) no DNA.  
Fontes: (A) [www.biotech-adventure.okstate.edu](http://www.biotech-adventure.okstate.edu); (B) [www.nirmed.org](http://www.nirmed.org)

Os mais conhecidos extremófilos são micróbios. O domínio Archaea contém renomados exemplos, mas extremófilos são presentes em inúmeras e diversas linhagens genéticas de bactérias e archaeanos. Além disto, é errôneo utilizar o termo extremófilo para englobar todos os archaeanos, já que alguns são mesófilos.

Nem todos os extremófilos são unicelulares; protostômios encontrados em ambientes similares incluem o verme de Pompéia, os psicrófilos *Grylloblattodea* (insetos), Krill antártico (um crustáceo) e os Tardigrados (*Milnesium tardigradum*).



## Tardigrados



Temperatura (-200°C à 151°C); Pressão (vácuo à 5000 atm); Desidratação (10 anos em umidade zero); Radiação (sobrevive a doses de 5000 Gy (raios gama) e 6200 Gy (íons pesados). OBS. 5-10 Gy é fatal para humanos; Resistentes a toxinas.

Os primeiros experimentos com tardigrados foram feitos no espaço no ano de 2007 (FOTON-M3). Eles sobreviveram a 10 dias de exposição direta.

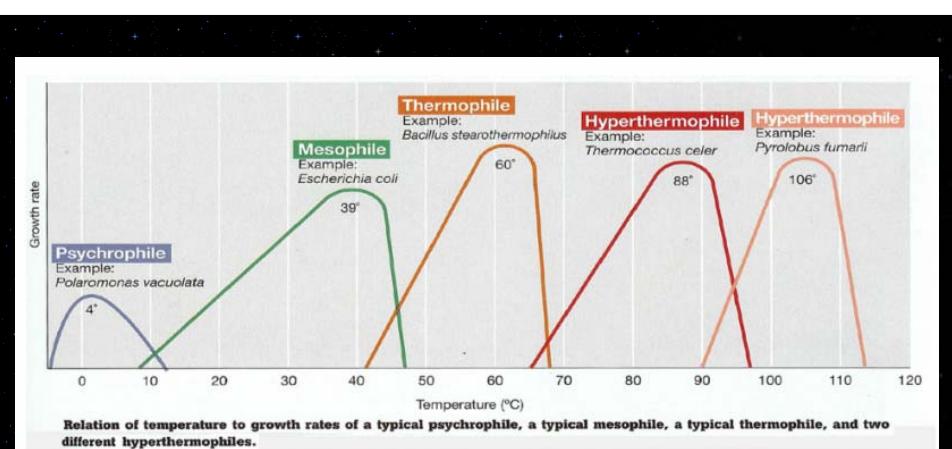
## Extremófilos da Flora

Numerosas espécies de plantas têm tolerância a temperaturas extremas, pH, concentrações químicas no solo e salinidade.

Alguns exemplos são a *Thellungiella halophila*, *Quercus durata*, *Eriogonum cedrorum* e *Streptanthus niger*.



*Thellungiella halophila*  
(Sobrevive a -15°C)



Nos anos 80 e 90, biólogos descobriram que a vida microscópica tem uma incrível capacidade de sobrevivência em ambientes extremos - nichos extraordinariamente quentes, ou ácidos, como lugares inhóspitos para organismos complexos. Alguns cientistas concluem até mesmo que a vida na Terra deve ter começado em fontes hidrotermais, muito abaixo da superfície dos oceanos.

# Estratégias para sobreviver em condições extremas

Para viverem em condições tão adversas, os extremófilos recorrem a diferentes estratégias, sendo algumas conhecidas.

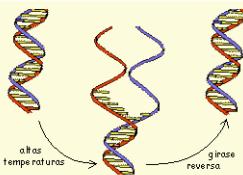
## • Proteínas termoestáveis



As proteínas dos termófilos são, na sua maioria, estáveis a temperaturas elevadas. De entre vários factores, tal deve-se, por exemplo, à existência de fortes ligações intramoleculares.

A proteína representada na figura é uma ferredoxina hiperestável que só a 134°C se começa a degradar.

## • Girase reversa



A altas temperaturas a dupla hélice do DNA tem tendência a desenrolar perdendo a sua actividade biológica.

Os hipertermófilos têm uma enzima, a girase reversa, (que não existe em mais nenhum organismo vivo) que tem como função voltar a enrolar o DNA.

# Filogenia

A maioria dos organismos extremófilos pertence ao domínio das Archaea (embora também se encontrem entre as Bactérias).

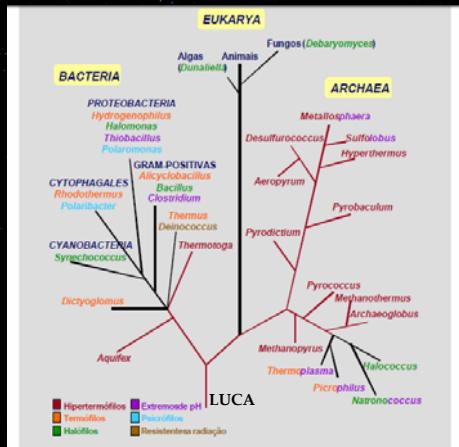


*Pyrococcus furiosus*. Esta Archaea vive a temperaturas acima de 90°C.



*Sulfolobus acidocaldarius*

Estas duas Archaea, da ordem das Sulfolobales, vivem em ambientes com pH 2 e temperaturas de 80°C



Árvore filogenética segundo Woese et al. 1990, com localização de extremófilos. O tipo de extremofílio está identificado com o código de cores indicado.

## Interesses diversos sobre a investigação de extremófilos

Devido às suas características únicas os microrganismos extremófilos têm despertado o interesse da comunidade científica.

Os cientistas têm-se debruçado sobre:

- Estudo de estratégias de adaptação a temperaturas elevadas.
- Novas vias metabólicas e identificação de novos solutos ósmo e termo-protectores.
- Elucidação de novos processos de obtenção de energia.
- Estudo de factores que contribuem para a termoresistência das proteínas.
- Estudo da biodiversidade do mundo microbiano.

	Organismos	Produtos	Aplicação
Hiper-termófilos >80°C	Amilases	Frutose para adoçantes	
	Xilases	Branqueamento de papel	
	Proteases	Aminônicos para produção de queratinas, alimentos e detergentes	
	DNA-polimerases	Engenharia genética (PCR)	
Psicrófilos 0-15°C	Proteases neutras	Produção de lacticínios	
	Proteases		
	Amilases	Detergentes	
	Lipases		
Acidófilos 0<pH<4	Ácidos gordos polinsaturados	Fármacos	
	Oxidação de enxofre	Bessulfurização do carvão	
	Proteases		
	Amilases	Detergentes	
Alcalófilos pH>9	Lipases		
	Ciclo-dextrinas	Estabilização de substâncias voláteis	
Halófilos >9% NaCl	Caroteno	Corantes para alimentos	
	Antibióticos		
	Glicerol	Fármacos	
	Solutos compatíveis	Fármacos	
	Membranas	Estabilizadores de enzimas	
		Surfactantes para fármacos	

## Alguns Experimentos de Astrobiologia

## Histórico de experimentos simulando ambientes extraterrestres

- Década de 1960 (Hagen et al., 1964)
- Programa Apollo (*Streptomyces*, *Bacillus subtilis*)
- Biopan / ESA
- SSIOUX - Space Simulating for Investigating Organics, Evolution and Exobiology (Alemanha, 9 projetos biológicos)

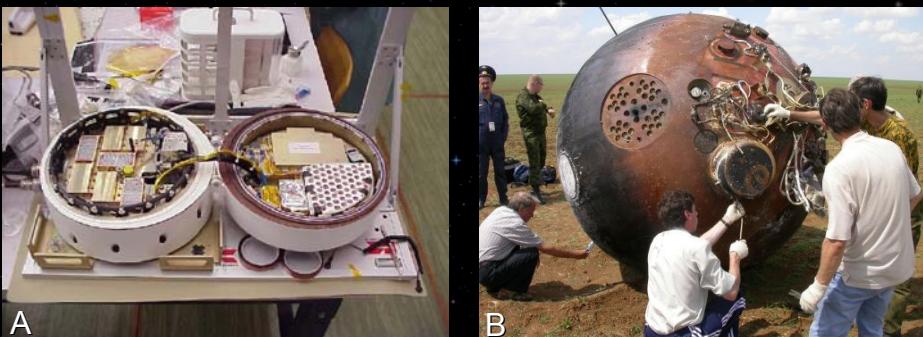


Figura 4. Dispositivo Biopan. (A) Cápsula aberta em laboratório; (B) cápsula no veículo espacial.

Fonte: [http://www.spaceflight.esa.int/users/downloads/facilities-doc/biopan2\\_foton.jpg](http://www.spaceflight.esa.int/users/downloads/facilities-doc/biopan2_foton.jpg)

ASTROBIOLOGY  
Volume 7, Number 3, 2007  
© Mary Ann Liebert, Inc.  
DOI: 10.1089/ast.2006.0046

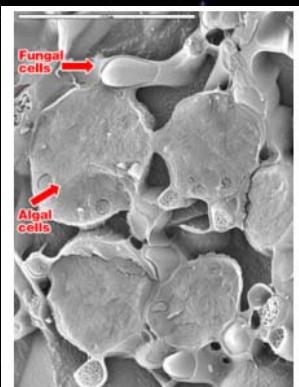
### Research Paper

#### Lichens Survive in Space: Results from the 2005 LICHENS Experiment

LEOPOLDO G. SANCHO,<sup>1</sup> ROSA DE LA TORRE,<sup>2</sup> GERDA HORNECK,<sup>3</sup>  
CARMEN ASCASO,<sup>4</sup> ASUNCIÓN DE LOS RIOS,<sup>4</sup> ANA PINTADO,<sup>1</sup> J. WIERZCHOS,<sup>5</sup>  
and M. SCHUSTER<sup>6</sup>



15 dias no espaço!



Credits: L. Sancho



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT<sup>®</sup>

Advances in Space Research 36 (2005) 297–302

ADVANCES IN  
SPACE  
RESEARCH  
(a COSPAR publication)

[www.elsevier.com/locate/asr](http://www.elsevier.com/locate/asr)

## SSIOUX – Space simulation for investigating organics, evolution and exobiology

E. Rabbow \*, P. Rettberg, C. Panitz, J. Drescher, G. Horneck, G. Reitz

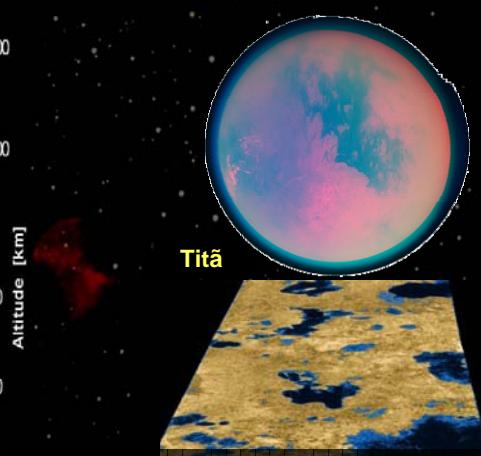
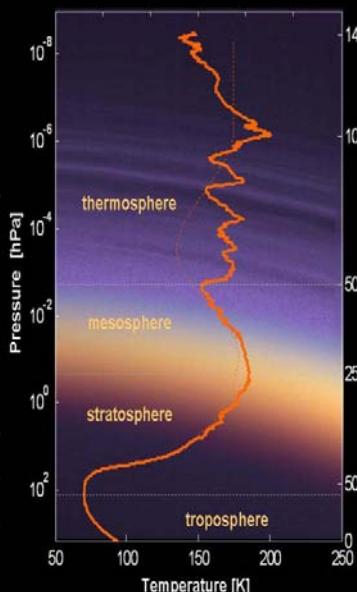
Institute of Aerospace Medicine, Department of Radiation Biology, DLR, Linder Höhe, D-51147 Köln, Germany

Received 28 October 2004; received in revised form 24 August 2005; accepted 25 August 2005



Instituto de Medicina Aeroespacial, Köln, Alemanha

### Simulação de atmosferas planetárias (Temp; Radiação; Química)

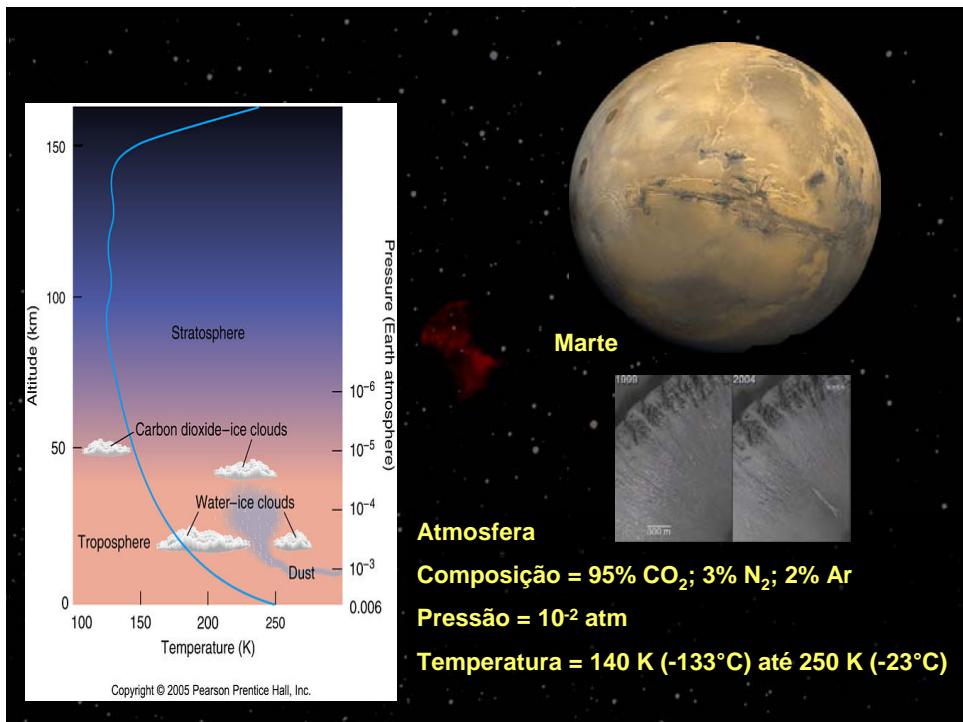


Atmosfera:

Composição química = 94% N<sub>2</sub>, 5% CH<sub>4</sub>

Pressão = 1,5 atm

Temperatura = 70 K (-203°C) até 200K (-73°C)





## Review

## Experimental methods for studying microbial survival in extraterrestrial environments

Karen Olsson-Francis\*, Charles S. Cockell

Centre for Earth, Planetary, Space and Astronomical Research, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA, UK

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 24 August 2009

Received in revised form 5 October 2009

Accepted 7 October 2009

Available online 23 October 2009

**Keywords:**  
 Extraterrestrial environments  
 Extremophiles  
 Microbial response

## ABSTRACT

Microorganisms can be used as model systems for studying biological responses to extraterrestrial conditions; however, the methods for studying their response are extremely challenging. Since the first high altitude microbiological experiment in 1955 a large number of facilities have been developed for short- and long-term microbial exposure experiments. Examples are the BIOPAN facility, used for short-term exposure, and the EXPOSE facility aboard the International Space Station, used for long-term exposure. Furthermore, simulation facilities have been developed to conduct microbiological experiments in the laboratory environment. A large number of microorganisms have been used for exposure experiments; these include pure cultures and microbial communities. Analyses of these experiments have involved both culture-dependent and independent methods. This review highlights and discusses the facilities available for microbiology experiments, both in space and in simulation environments. A description of the microorganisms and the techniques used to analyse survival is included. Finally we discuss the implications of microbiological studies for future missions and for space applications.

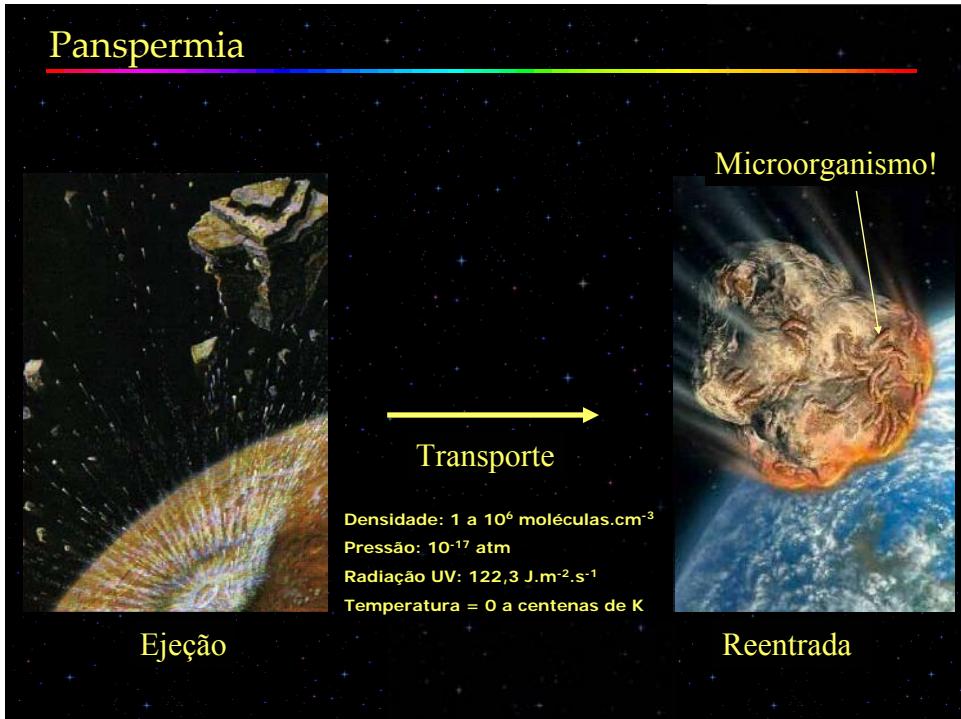
© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Table 4**  
 Examples of incubation conditions used to investigate biological response to simulated conditions.\*

Incubation method	Temp. (°C)	Pressure (mbar)	Atmospheric composition (%)			Solar radiation (nm)	Reference
			CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar		
Present Mars	–	-123/25	7.6	95.3	2.7	1.6	0.13 >200 –
1958	Anaerobic jar	-25/25	87	100	–	–	–
1958	Anaerobic jar	-25/25	72	100	–	–	–
1959	Anaerobic jar	-25/25	87	100	–	–	–
1962	Anoxic tubes	-25/25	~0.87	100	–	–	–
1963	Anoxic jar	-60/20	100	5	95	–	254 Mercury
1963	Anoxic tubes	-75/25	1013	–	100	–	–
1964	Anoxic tubes	-60/26	113	2.2	93.8	4	–
1965	Anoxic tubes	-65/25	113	2.2	93.8	4	–
1965	Mars facility	-60/25	100	0.25	95.5	0.25	200–2500 Xenon
1967	Anoxic tubes	-65/28	113	2.2	93.8	4	±
1967	Tubes	-60/25	1013	0.03	78.1	0.93	20.9 254 Mercury
1968	Mars facility	-64/28	100	–	100	–	240–280 Mercury
1968	Anoxic tubes	-65/30	10–40	37–100	13.27	21.30	–
1969	Mars facility	18–30	7.1–60	–	99	<1	–
1970	Mars facility	-50/30	20	67	30	3	200–300 Mercury
1971	Mars facility	-60/25	8	70	25	5	200–2500 Xenon
1971	Anoxic tubes	-25/25	13	99	–	–	–
1972	Anoxic tubes	-60/28	7	80	–	20	–
1974	Anoxic tubes	-65/24	7	99.9	–	0.01	–
1979	Tubes	-10/25	0.001	–	100	–	± Mercury/xenon
1984	Mars facility	-80/25	7–9	95	2–3	1–2 <0.4	254 Mercury
1992	Anoxic tubes	-70	13	95.52	2.73	1.62	0.13 –
1995	Mars facility	-160/50	0.001	95.46	2.7	1.6	0.17 115–400 Hydrogen
1996	Mars facility	60	10	95.46	2.7	1.6	0.17 115–400 Hydrogen
1997	Mars facility	25	100	95.59	–	4.21	0.11 210–710 Xenon
1998	Tubes	-23/10	1013	–	–	–	– McDonald et al. (1998)
2000	–	25	1013	0.03	78.1	0.93	20.9 200–400 Deuterium Mancinelli and Klovstad (2000)
2003	Mars facility	-10	8.5	95.3	2.7	1.7	0.2 200–2500 Xenon Schaefer et al. (2003)
2003	Mars facility	-60	6	98	–	–	– Stan-Lotter et al. (2003)
2005	Mars facility	-10	8.5	100	–	–	200–2500 Xenon Cockell et al. (2005)
2005	Mars facility	-95/12	9–13	77.5	8.7	–	1.3 200–2500 Xenon/Mercury Hansen et al. (2005)
2005	Mars facility	20	125	100	–	–	120–180 Hydrogen Nicholson and Schuerger (2005)
2006	Mars facility	-60 to 15	7	95.55	2.7	1.6	0.5 200–400 Halide Pogoda de la Vega et al. (2006)
2006	Mars facility	25	7	95.96	–	–	200–400 Deuterium Osman et al. (2008)
2007	Mars facility	-70/20	10 <sup>-3</sup>	95.3	–	–	– Morozova et al. (2007)
2008	Mars facility	-41 to 22	7.6–9.7	91.4	4.8	2.8	0.24 200–1000 Mercury–Xenon Hansen et al. (2009)
2008	Mars facility	<30	6	99.9	–	–	200–400 Polychromatic Onofri et al. (2008)
2009	Mars facility	-28	8	99	–	>200	Xenon Olsson-Francis et al. (2009), Olsson-Francis (unpublished)

\* The table is adapted from Hansen (2007).

# Panspermia



A teoria da panspermia foi proposta em sua forma moderna pelo físico alemão Hermann Von Helmholtz em 1879.

pān-spür'-mē-ə  
Panspermia — the theory that microbes transmit life to habitable bodies in space; or the process of such transmission.



Na década de 70 essa teoria ganhou mais força com os argumentos dos astrônomos britânicos Fred Hoyle e Chandra Wickramasinghe.



## Tipos de panspermia.

### Pseudo-panspermia

Entrega de moléculas orgânicas complexas vindo do espaço (cometas, asteróides, poeira interplanetária).  
→ Moléculas seriam processadas na Terra primitiva (ex. experimento de Miller-Urey), dariam origem a química pré-biotica e a primeiras células (LUCA).



### Panspermia

Entrega de microorganismos vindo do espaço (cometas, asteróides). No caso de microorganismos vindo de um outro planeta resultado de uma colisão do planeta com um asteróide esse fenômeno é lito-panspermia ou panspermia de impacto. Esse tipo só seria um tipo de migração interplanetária natural.



## Tipos de panspermia.

### Radio-panspermia

microorganismos extremofilos poderiam viajar pelo espaço simplesmente pela pressão de radiação.

### Panspermia direta ou induzida

Nesse caso civilizações inteligentes enviariam seus iguais ou suas células para colonizarem outros planetas/luas (sondas espaciais).



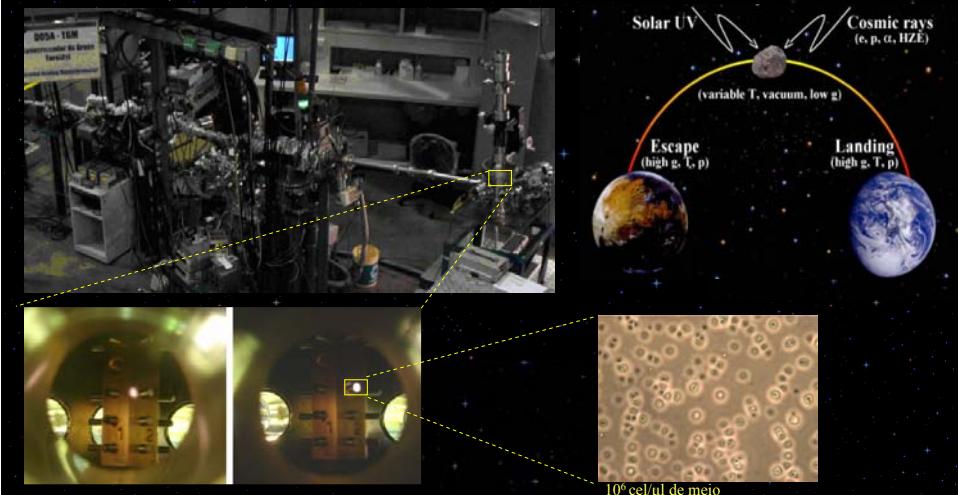
### Panspermia interestelar e intergaláctica

Envolveria sistemas planetários diferentes em diferentes estrelas e até mesmo galáxias diferentes.

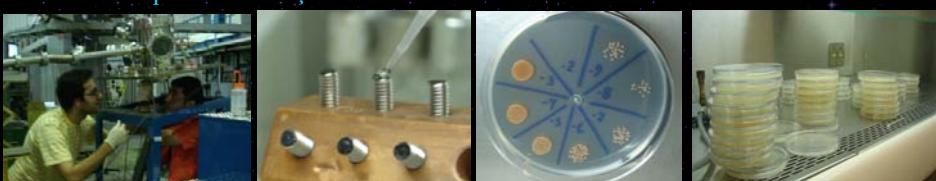


## Experimentos de Sobrevivência de Microorganismos Extremófilos em Situação de Migração interplanetária (Panspermia).

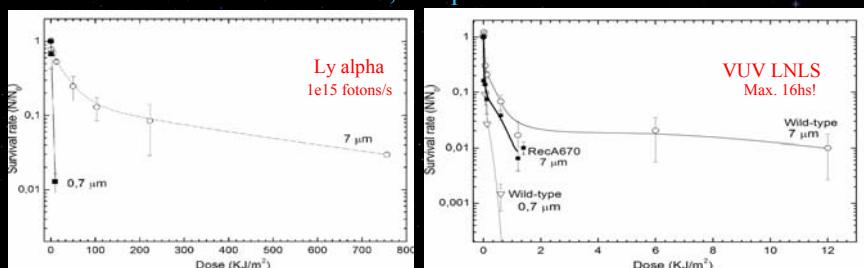
- Lâmpada H (10.2 eV  $\sim 10^{15}$  fót./s) e Luz Síncrotron (TGM; 0.1-22 eV  $\sim 10^{11}$  fót./s);
- Bactérias Liofilizadas (*Deinococcus Radiodurans*; *E. Coli*)
- HV ( $10^{-6}$ mbar);



### Análises após as irradiações:



### Resultados: Curva de Sobrevivência; Tempo de meia vida



### Principais Conclusões:

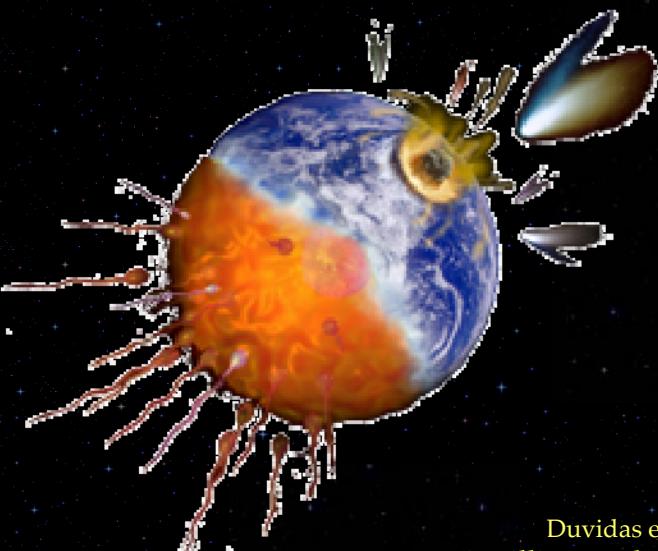
- $H_2O + h\nu \rightarrow$  Radicais livres  $\rightarrow$  Dano
- Mínima rugosidade permite grande sobrevivência e a liofilização garante grande resistência a radiação ionizante (poucos OH<sup>-</sup>)

## Bibliografia Sugeridos Para leitura

- Horneck G. & Rettberg P., Complete Course in Astrobiology, Wiley-VCH, 2007.
- Gargaud M., Barbier B., Martin H. & Reisse J. Lectures in Astrobiology I part 1 – The Early Earth and Other cosmic Habitats for Life, Springer, 2006.
- Gargaud M., Barbier B., Martin H., Reisse J. Lectures in Astrobiology I part 2 – From Prebiotic Chemistry to Origin of Life on Earth, Springer, 2006.
- Gilmour I. & Spehrt M. A., An Introduction to Astrobiology, The Open University, Cambridge, 2004.
- Greenberg J.M., Mendoza-Gomez C.X. & Pirronello V., The Chemistry of Life's Origin, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1993.

## Sites recomendados

- <http://deqb.ist.utl.pt/bbio/69/pdf/extremofilos.pdf>
- <http://streamiss.spaceflight.esa.int/?pg=production&dm=1&PID=alcn>
- <http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.astro.43.051804.102202>
- <http://bit.ly/nW0DGA>
- <http://atropods.as.arizona.edu/aiz/teaching/a204/extremophile.pdf>
- <http://www.eoearth.org/article/Extremophile?topic=49540>
- <http://www.itqb.unl.pt/~extremofilos/>



Dúvidas e Perguntas:  
[sergiopilling@yahoo.com.br](mailto:sergiopilling@yahoo.com.br)